

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

15.11.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年10月30日

REC'D 09 DEC 2004

WIPO

PCT

出願番号
Application Number: 特願2003-371291

[ST. 10/C]: [JP2003-371291]

出願人
Applicant(s): 東京エレクトロン株式会社

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2004年11月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 JPP031011
【提出日】 平成15年10月30日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 21/00
C23C 16/46
F27B 5/18
F27D 19/00

【発明者】
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
【氏名】 朴 永哲

【発明者】
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
【氏名】 川村 和広

【発明者】
【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
【氏名】 王 文凌

【特許出願人】
【識別番号】 000219967
【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】
【識別番号】 100095407
【弁理士】
【氏名又は名称】 木村 満

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 038380
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9718281

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

被処理体を収容する処理容器と複数のヒータと複数の温度センサとを備え、前記温度センサの出力から前記処理容器内の被処理体の温度を推定するための熱モデルを記憶し、前記温度センサの出力と前記熱モデルを用いて前記処理容器内の被処理体の温度を予想し、予想した被処理体の温度が予め設定されているレシピが規定する温度に一致するように前記ヒータを制御することにより、前記被処理体に熱処理を施す熱処理装置であって、

前記熱モデルは前記温度センサの出力を用いて前記被処理体の温度と共に前記処理容器内の所定部位の温度を予想する機能を有し、

前記レシピは前記処理体の温度と共に前記所定部位の温度とを規定し、

前記温度センサの出力に基づいて、前記被処理体の温度及び前記所定部位温度を予想し

予想した前記被処理体の温度と前記所定部位温度とが、前記レシピが指定する温度に一致するように、前記複数のヒータを制御する、

ことを特徴とする熱処理装置。

【請求項2】

前記処理容器内には内部ヒータが配置されており、

前記熱モデルは、前記内部ヒータの温度を予想する機能を備え、

前記レシピは、プロセスにおける内部ヒータの温度を規定し、

内部ヒータの温度が前記レシピが規定する温度に一致するようにヒータを制御する、
ことを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置。

【請求項3】

前記熱モデルは、前記処理容器の内面の所定位置の温度を予想する機能を備え、

前記レシピは、前記処理容器の内面の所定位置のプロセス中の温度を規定し、

前記プロセス中は、前記所定位置の予想温度が前記レシピが規定する温度に一致するようにヒータを制御する、

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱処理装置。

【請求項4】

前記処理容器内に収容される被処理体の上部と下部には、それぞれ、第1と第2のヒータが配置されており、

前記熱モデルは、前記第1と第2のヒータの温度を予想する機能を備え、

前記レシピは、前記第1と第2のヒータの温度を規定し、

前記第1のヒータの予想温度と第2のヒータの予想温度とが、それぞれ、レシピが規定する温度となるようにヒータを制御しつつ熱処理を行う

ことを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置。

【請求項5】

前記処理容器の上方には排気管が接続されており、

前記被処理体の上方には、前記排気管を取り巻くようにドーナツ状の第1のヒータが配置されており、

前記処理容器内の前記被処理体と前記第1のヒータとの間には、前記複数の温度センサのうちの所定の第1の温度センサが配置されており、

前記処理容器内の前記被処理体の下方には、円盤状の第2のヒータが配置されており、

前記熱モデルは、前記第1の温度センサと前記第2のヒータとの温度を予想する機能を備え、

前記レシピは、前記第1の温度センサの温度と第2のヒータの温度とを規定し、

前記第1の温度センサの予想温度と第2のヒータの予想温度とが、それぞれ、レシピが規定する温度となるようにヒータを制御しつつ熱処理を行う

ことを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置。

【請求項6】

前記処理容器内にガスを導入する手段と処理容器からガスを排気する手段とを備え、

前記所定の位置は、前記ガスの導入口から前記ガスの排出口に至る経路上の、前記ガス導入口から前記被処理体の最下流側の部位までの間に位置している、
ことを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置。

【請求項7】

前記被処理体を処理容器内にロードし、処理済みの被処理体を処理容器からアンロードするロード／アンロード手段を備え、

前記熱モデルは、前記処理容器の内面の所定位置の温度を予想する機能を備え、

前記ロード／アンロード手段による被処理体のロード中及び／又はアンロード中に前記処理容器内面の温度が一致値となるようにヒータを制御する、

ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の熱処理装置。

【請求項8】

処理容器内に収容した被処理体に熱処理を施す熱処理方法であって、

被処理体を収容する処理容器内に配置し、

複数の温度センサの出力を予め設定されている熱モデルに適用して前記処理容器内の被処理体の温度と前記処理容器内の所定部位の温度と予想し、

予想した被処理体の温度と所定部位の温度とが、それぞれ、予め設定されているレシピが規定する温度に一致するように、複数のヒータを制御する、

ことを特徴とする熱処理方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】熱処理装置及び熱処理方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハ等の被処理体を熱処理する熱処理装置に関し、特に、収容している被処理体の温度を熱モデルを用いて予想し、予想結果に基づいて制御を行う熱処理装置と熱処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

多数の半導体ウエハに対して成膜処理、酸化処理、拡散処理などの熱処理を一括して行うバッチ式熱処理装置として、横型熱処理装置や縦型熱処理装置が知られており、最近では、大気の巻き込みが少ない等の理由から縦型熱処理装置が主流になりつつある。

【0003】

熱処理装置は、処理温度、処理圧力、ガス流量などの処理条件をレシピに定められた目標値に一致させるように制御しながら、処理を行う。これらの処理を適切に行うため、ウエハの温度、反応炉内の圧力、ガス流量などを測定する必要がある。

【0004】

反応炉内の圧力は、圧力計により、ガス流量は供給管に配置された流量計を含むマスフローコントローラ等により、比較的正確に測定が可能である。しかし、ウエハの温度については、測定が困難である。ウエハに温度センサを装着して反応炉内に収納する手法も考えられるが、温度センサ装着箇所に半導体素子を形成することができず、さらに、温度センサからの不純物が反応炉内全体を汚染し、半導体装置の歩留まりを低下させる虞がある。

【0005】

これらの問題を解決できる技術が、例えば、特許文献1及び2に開示されている。この技術は、反応炉に複数の温度センサを配置し、この温度センサの出力と、ヒータへの供給電力などに基づいて、熱モデル（数学モデル）を用いてウエハの温度を刻一刻と予想し、予想値を用いて、ヒータ電力を制御する技術である。この技術によれば、ウエハの温度を比較的正確に非接触で予想して、熱処理装置を制御することができる。

【特許文献1】日本国特許公開公報第2002-25997号

【特許文献2】米国特許第5,517,594号公報

【0006】

従来この種の熱処理装置は、特許文献1の図1に示されているように、処理容器内の高さ方向の熱の均一性を確保するため、反応管の側面にヒータを設けて側面から加熱する構成が一般的である。

【0007】

近時、半導体装置の多品種少量生産の要望が高まっており、この要望に併せて小型の処理容器を備える（比較的少量のウエハを処理できる）タイプのバッチ式縦型熱処理装置が開発されている。一方、処理対象のウエハの大型化が進んでおり、処理容器の高さTに対する径Rの比が大きくなる傾向にある。

【0008】

このような構成では、処理容器の高さ方向の温度の均一性が確保しづらいという問題がある。このような問題を解決するため、処理容器のポートの上下に平面状のヒータ（上面ヒータ、下面ヒータ）を備える構成のバッチ式縦型熱処理装置が開発されている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、このような構成の熱処理装置においては、ウエハポートの上端部及び下端部に配置されたウエハWは、上面ヒータ及び下面ヒータをどのように制御するかによって、面内温度差及び面間温度に差が生じ、膜厚及び膜質が不均一になるおそれがある。

【0010】

また、このような構成の熱処理装置において、ウエハポートの処理容器内へのロード時、及び、処理容器からのアンロード時、処理容器の内面温度が急激に変化し、処理容器の内面に付着して層を成している反応生成物が剥がれ、所謂パーティクルを生じて、処理対象のウエハWに付着し、以後のプロセスに影響を与えるおそれがある。

【0011】

同様の問題は、半導体ウエハに限らず、様々な被処理体を処理する熱処理装置に共通する。

【0012】

本発明は、このような事情の下に成されたものであり、被処理体の側面と上下とにヒータを備え、熱モデルを用いて被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて、熱処理を行う熱処理装置において、より的確な温度制御を可能とすることを目的とする。

また、本発明は、パーティクルの発生を抑制することを他の目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記目的を達成するため、この発明の第1の観点に係る熱処理装置は、被処理体を収容する処理容器と複数のヒータと複数の温度センサとを備え、前記温度センサの出力から前記処理容器内の被処理体の温度を推定するための熱モデルを記憶し、前記温度センサの出力と前記熱モデルを用いて前記処理容器内の被処理体の温度を予想し、予想した被処理体の温度が予め設定されているレシピが規定する温度に一致するように前記ヒータを制御することにより、前記被処理体に熱処理を施す熱処理装置であって、

前記熱モデルは前記温度センサの出力を用いて前記被処理体の温度と共に前記処理容器内の所定部位の温度を予想する機能を有し、

前記レシピは前記処理体の温度と共に前記所定部位の温度とを規定し、

前記温度センサの出力に基づいて、前記被処理体の温度及び前記所定部位温度を予想し

予想した前記被処理体の温度と前記所定部位温度とが、前記レシピが指定する温度に一致するように、前記複数のヒータを制御する、

ことを特徴とする。

【0014】

この構成によれば、被処理体以外の所定部位の温度をも制御対象とすることにより、被処理体の温度をだけを制御する場合に比して、処理容器内の温度制御をより的確に行うことができる。

【0015】

例えば、前記処理容器内には内部ヒータが配置され、前記熱モデルは、前記内部ヒータの温度を予想する機能を備え、前記レシピは、プロセスにおける内部ヒータの温度を規定し、内部ヒータの温度が前記レシピが規定する温度に一致するようにヒータを制御する。

【0016】

例えば、前記熱モデルは、前記処理容器の内面の所定位置の温度を予想する機能を備え、前記レシピは、前記処理容器の内面の所定位置のプロセス中の温度を規定し、前記プロセス中は、前記所定位置の予想温度が前記レシピが規定する温度に一致するようにヒータを制御する。

【0017】

例えば、前記処理容器内に収容される被処理体の上部と下部には、それぞれ、第1と第2のヒータが配置される。この場合、例えば、前記熱モデルは、前記第1と第2のヒータの温度を予想する機能を備え、前記レシピは、前記第1と第2のヒータの温度を規定し、前記第1のヒータの予想温度と第2のヒータの予想温度とが、それぞれ、レシピが規定する温度となるようにヒータを制御しつつ熱処理を行う。

【0018】

例えば、前記処理容器の上方には排気管が接続されており、前記被処理体の上方には、

前記排気管を取り巻くようにドーナツ状の第1のヒータが配置されており、前記処理容器内の前記被処理体と前記第1のヒータとの間には、前記複数の温度センサのうちの所定の第1の温度センサが配置されており、前記処理容器内の前記被処理体の下方には、円盤状の第2のヒータが配置されており、前記熱モデルは、前記第1の温度センサと前記第2のヒータとの温度を予想する機能を備え、前記レシピは、前記第1の温度センサの温度と第2のヒータの温度とを規定し、前記第1の温度センサの予想温度と第2のヒータの予想温度とが、それぞれ、レシピが規定する温度となるようにヒータを制御しつつ熱処理を行う。

【0019】

前記処理容器内にガスを導入する手段と処理容器からガスを排気する手段とを備え、前記所定の位置は、前記ガスの導入口から前記ガスの排出口に至る経路上の、前記ガス導入口から前記被処理体の最下流側の部位までの間に位置している、ようにしてもよい。

【0020】

例えば、前記被処理体を処理容器内にロードし、処理済みの被処理体を処理容器からアンロードするロード／アンロード手段を備え、前記熱モデルは、前記処理容器の内面の所定位置の温度を予想する機能を備え、前記ロード／アンロード手段による被処理体のロード中及び／又はアンロード中に前記処理容器内面の温度が一致値となるようにヒータを制御する。

【0021】

上記目的を達成するため、この発明の第2の観点に係る熱処理方法は、処理容器内に収容した被処理体に熱処理を施す熱処理方法であって、被処理体を収容する処理容器内に配置し、複数の温度センサの出力を予め設定されている熱モデルに適用して前記処理容器内の被処理体の温度と前記処理容器内の所定部位の温度と予想し、予想した被処理体の温度と所定部位の温度とが、それぞれ、予め設定されているレシピが規定する温度に一致するように、複数のヒータを制御する、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0022】

この発明によれば、被処理体以外の所定部位の温度を制御することで、より的確な温度制御が可能となり、パーティクルの発生を抑え、所望の膜質を得やすくなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、本発明をバッチ式縦型熱処理装置に適用した実施の形態について説明する。本実施の形態に係る縦型の熱処理装置1は、図1に示すように、処理容器（反応管）1を備える。処理容器1は、被処理体を成すウエハWを収容して、所定の熱処理、例えば、CVD処理を施すためのものであり、耐熱性および耐食性を有する材料例えば石英ガラスにより形成されている。処理容器1は、上端と下端が開放された単管構造を有し、上端は細径に絞られて、排気部12を形成する。排気部12は、図示せぬ排気管などを介して真空ポンプ等に接続されている。

【0024】

処理容器1の下部には、処理容器1内に処理ガスや不活性ガスを導入するガス導入部（導入ポート）13が配置されている。ガス導入部13には、ガス源に通じる複数のガス供給系の配管14が挿通されている。ガス導入部13から導入された処理ガスは、処理容器1内を上昇してウエハWの所定の熱処理に供された後、排気部12から排気される。

【0025】

処理容器1のフランジ状に形成された下端部15は、ステンレス等の耐熱性および耐食性を有する材料から形成された蓋体21により開閉される。蓋体21は、図示せぬエレベータにより昇降し、上昇した位置で、処理容器1の下端部15を密閉し、下降した位

置で、処理容器11の下端部15を開放する。

処理容器11の下端部15と蓋体21との間には、気密を確保するためのO(オー)リング22が配置されている。

【0026】

蓋体21の中央部には、回転支柱23が回転可能に立設され、回転支柱23の上端には、回転テーブル24が固定されている。

また、蓋体21の下部には、回転支柱23を回転駆動する駆動部25が設けられている。

【0027】

回転テーブル24の上には、例えば、60枚の半導体ウエハWを高さ方向に所定間隔で搭載可能な石英ガラス製のポート(ウエハポート)26が載置される。ポート26は、蓋体21が降下した状態で回転テーブル24上に載置され、蓋体21が上昇して処理容器11の下端部15を密閉すると、処理容器11内へのロードが完了し、処理完了後、蓋体21が降下することによりアンロードされる。また、プロセス中は、駆動部25による回転テーブル24の回転により回転し、ウエハWに均一な熱処理が施される。

【0028】

処理容器11の周囲には、処理容器11内に収容されたウエハWを周縁部から加熱昇温させるための周面ヒータ31が配置されている。周面ヒータ31は、例えば棒状の抵抗発熱体から構成され、垂直状態で処理容器11の周囲を取り囲むように筒状に配設されている。周面ヒータ31は、処理容器11の周囲全体を加熱するメインヒータ31aと、処理容器11の上端側および下端側の周囲を加熱する上端サブヒータ31b及び下端サブヒータ31cと、から構成される。メインヒータ31aとサブヒータ31b、31cは、処理容器11の周方向に交互に配置されている。

【0029】

処理容器11の上下には、上面ヒータ32と下面ヒータ33とが設けられている。

【0030】

上面ヒータ32は、処理容器11の排気部12からの放熱によるウエハWの温度の低下を防ぐためのものであり、排気部12の周囲にドーナツ状に形成され、支持部材34により処理容器11に固定されている。

【0031】

下面ヒータ33は、蓋体21等を介した放熱によりウエハWの温度が低下するのを防止するためのものであり、処理容器11内の回転テーブル24の下に位置するように配置され、支持部材35により蓋体21上に固定されている。下面ヒータ33は、その中央部を回転支柱23が貫通するようにドーナツ状に形成されている。

【0032】

処理容器11の外周面には、垂直方向に一列に3つの温度センサS1～S3が配置されている。温度センサS1はポート26の上部に対応する位置に、温度センサS2はポート26の中央部に対応する位置に、温度センサS3はポート26の下部に対応する位置に、それぞれ配置されている。

【0033】

また、処理容器11内の上面ヒータ32とポート26の上端面との間の位置に温度センサS4が配置され、処理容器11内の下面ヒータ33と回転テーブル24との間の位置に、温度センサS5が配置されている。温度センサS4とS5とは、処理容器11内の金属汚染を防止するため、例えば、石英チューブに収納されている。

【0034】

温度センサS1～S5の出力(検出温度)は、後述するように、ポート26に配置されたウエハW、上面ヒータ32および下面ヒータ33の表面温度を予想(推定；予測)するために使用される。

【0035】

熱処理装置1は、装置全体の制御を行う制御部100を備えている。

【0036】

図2に示すように、制御部100には、温度センサS1～S5、操作パネル121、圧力計（群）122、ヒータコントローラ123、マスフローコントローラ124、弁開閉制御部125、真空ポンプ126、ポートエレベータ127等が接続されている。

【0037】

温度センサS1～S5は、前述のように、処理容器11の外壁面の温度と上面ヒータ32及び下面ヒータ33近傍の温度を測定して、制御部100に通知する。

操作パネル121は、表示画面と操作ボタンとを備え、オペレータの操作指示を制御部100に伝え、また、制御部100からの様々な情報を表示画面に表示する。

圧力計（群）122は、処理容器11内及び排気部12内の各部の圧力を測定し、測定値を制御部100に通知する。

【0038】

ヒータコントローラ123は、ヒータ31a、31b、31c、32、33を個別に制御するためのものであり、制御部100からの指示に応答して、ヒータ31a、31b、31c、32、33に通電してこれらを加熱し、また、各ヒータ31a、31b、31c、32、33の消費電力を個別に測定して、制御部100に通知する。

【0039】

マスフローコントローラ124は、各配管に配置され、各配管を流れるガスの流量を制御部100から指示された量に制御すると共に実際に流れたガスの流量を測定して、制御部100に通知する。

【0040】

弁開閉制御部125は、各配管に配置され、各配管に配置された弁の開度を制御部100から指示された値に制御する。真空ポンプ126は、処理容器11の排気部12に排気パイプ等を介して接続され、処理容器11内のガスを排気する。

【0041】

ポートエレベータ127は、蓋体21を上昇させることにより、回転テーブル24上に載置されたポート26を処理容器11内にロードし、蓋体21を下降させることにより、回転テーブル24上に載置されたポート26を処理容器11からアンロードする。

【0042】

制御部100は、図2に示すように、熱モデル記憶部111と、レシピ記憶部112と、ROM113と、RAM114と、I/Oポート115と、CPU116と、これらを相互に接続するバス117とから構成される。

【0043】

熱モデル記憶部111には、図3（a）に示すように、この熱処理装置1と同一仕様の基準装置を用いて作成された基準熱モデルM1と、基準熱モデルM1をこの熱処理装置1用に校正（カスタマイズ）して生成された校正熱モデルM2とが記憶される。この熱処理装置1の製造当初は、基準熱モデルM1のみが熱モデル記憶部111に記憶されている。熱処理装置1のセットアップ処理により基準熱モデルM1を修正して校正熱モデルM2を生成して、これが格納される。

【0044】

基準熱モデルM1と校正熱モデルM2は、共に、温度センサS1～S5の出力信号（測定温度）及びヒータ31a～33への供給電力（ヒータ31a～33に接続されたヒータコントローラ123からの供給電力量を示す指示値）等から処理容器11内の温度を予想するためのモデル（数学モデル；高次・多次元行列）である。ただし、基準熱モデルM1は、基準装置を用いて生成されたものであり、同一仕様の複数の熱処理装置1に共通のものである。一方、校正熱モデルM2は、各熱処理装置1のセットアップ時に基準熱モデルM1を、個々の装置の熱特性を正確に反映するように校正して生成され、実際の運用（プロセス処理）に使用される。

【0045】

より詳細には、基準熱モデルM1は、温度センサS1～S5の出力信号（測定温度）及

びヒータ31a～33への供給電力等から、ポート26の上部に載置されているウエハ（ポート上部ウエハ）Wの中心部P1および周縁部P2の温度、ポート26の中央部に載置されているウエハ（ポート中央部ウエハ）Wの中心部P3の温度、ポート26の下部に載置されているウエハ（ポート下部ウエハ）Wの中心部P4および周縁部P5の温度（計5箇所の温度）と、ポート26の上に配置されている温度センサS4の温度、下面ヒータ33上の2点P6、P7の温度、及び処理容器11の側壁の内面上の所定位置P8、P9（図1）の温度を予想する。

【0046】

なお、ポート中央部ウエハWについて周縁部の温度を測定しないのは、ポート26の中央部は熱的に安定した領域であり、ウエハWの中心部P3と周縁部との温度差がほとんど生じないため、中心部P3の温度でポート中央部ウエハW全体の温度を代表できるからである。

下面ヒータ33上の温度測定位置P6とP7は、図4に示すように、ドーナツ状の下面ヒータ33の中心点に対して点対象の位置にある。

また、処理容器11の側壁の内面上の位置P8とP9とは、それぞれ、処理容器11の側壁の上端と下端間の上ほぼ1/3の位置、下ほぼ1/3の位置である。

【0047】

また、基準熱モデルM1は、予想した10箇所（位置P1～P9及びセンサS4）の温度から、その温度をレシピで規定される温度（目標値）にするために各ヒータ31a、31b、31c、32、33に供給すべき電力を求める。なお、この基準熱モデルM1を生成する手法自体は、例えば、米国特許第5,517,594号公報などに開示されている手法を利用できる。

【0048】

校正熱モデルM2は、この熱処理装置1に固有の熱特性に従って正確に各部の温度を推定し、かつ、各ヒータ31a、31b、31c、32、33に供給すべき電力を求めることができるようにカスタマイズされたものである点以外は、基準熱モデルM1と同一構造である。

【0049】

図2のレシピ記憶部112には、図3（b）に示すように、セットアップ用レシピR1と複数のプロセス用レシピR2とが記憶されている。

【0050】

この熱処理装置1の製造当初は、セットアップ用レシピR1のみが格納される。セットアップ用レシピR1は、熱処理装置1の基準熱モデルM1を校正して構成熱モデルM2を生成する際に実行されるものである。このセットアップ用レシピR1は、図5に示すように、時間に対して上述の温度測定位置P1～P9及びセンサS4の温度を階段状に昇温することを規定する。また、処理容器11内の圧力、処理容器内への供給するガスの種類とガス流量、ガスの供給開始タイミング・停止タイミングなどを規定する。

【0051】

一方、プロセス用レシピR2は、ユーザが実際に用いる熱処理（プロセス）毎に用意されるレシピであり、図6に示すように、処理容器11への半導体ウエハWのロードから、処理済みのウエハWをアンロードするまでの、各部の温度の変化、処理容器11内の圧力変化、処理ガスの供給の開始及び停止のタイミングと供給量などを規定する。

【0052】

なお、プロセス用レシピR2は、各プロセスに関して、ウエハWの温度測定位置P1～P5の温度、温度センサS4の温度、下面ヒータ33の温度測定位置P6、P7の温度、処理容器11の側壁内面の温度測定位置P8とP9の温度の変化を規定する。

熱処理装置1の制御部100は、温度センサS1～S5の測定温度、ヒータコントローラ123から供給される各ヒータへの供給電力などの情報に基づいて、ウエハW上の温度測定位置P1～P5を予想し、予想した温度がプロセス用レシピR2が規定する温度に一致するようにヒータ31a～33を制御し、さらに、温度センサS4の温度と下面ヒータ

33の温度測定位置P6, P7の温度と処理容器11の側壁内面の温度測定位置P8, P9の温度とを予想し、予想した温度がプロセス用レシピR2が規定する温度に一致するようにヒータ31a～33を制御する。

【0053】

図2に示すROM113は、EEPROM、フラッシュメモリ、ハードディスクなどから構成され、CPU116の動作プログラム等を記憶する記録媒体である。RAM114は、CPU116のワークエリアなどとして機能する。

【0054】

I/Oポート115は、前述の温度センサS1～S5、操作パネル121、圧力計122、ヒータコントローラ123、マスフローコントローラ124、弁開閉制御部125、真空ポンプ126、ポートエレベータ127等に接続され、データや信号の入出力を制御する。

【0055】

バス117は、各部の間で情報を伝達する。

【0056】

CPU(Central Processing Unit)116は、制御部100の中枢を構成し、ROM113に記憶された制御プログラムを実行し、操作パネル121からの指示に従って、レシピ記憶部112に記憶されているレシピに沿って、熱処理装置1の動作を制御する。

【0057】

次に、熱処理装置1のセットアップ動作で使用する温度測定装置51について説明する。

この温度測定装置51は、図7に示すように、支柱52と、支柱52から水平方向に伸びる第1～第6の腕部53～58とを備える。第1から第3の腕部53, 54, 55は、図8に示すように、ポート26の上部スロット、中央部スロット、下部スロットに側方から挿入可能な位置に配置されている。第4の腕部56は、回転支柱23を避けて下面ヒータ33の温度測定位置P6, P7に近接・対向する位置に配置され、第5及び第6の腕部57, 58には、処理容器11の側壁の温度測定位置P8とP9に対向する位置に配置されている。

【0058】

図7に示すように、第1の腕53には、処理容器11内に配置された際に、ポート26の上部スロットのウエハWの中央部P1とエッジ部P2にそれぞれ対向する位置に熱電対TC1とTC2が配置されている。

【0059】

第2の腕54には、処理容器11内に配置された際に、ポート26の中央部スロットのウエハWの中央部P3に対向する位置に熱電対TC3が配置されている。

第3の腕55には、ポート26に挿入された際に、ポート26の下部スロットのウエハWの中央部P4とエッジ部P5とにそれぞれ対向する位置に熱電対TC4とTC5が配置されている。

第4の腕56には、処理容器11内に配置された際に、下面ヒータ33の温度測定位置P6とP7とにそれぞれ対向する位置に熱電対TC6とTC7が配置されている。

第5の腕57には、処理容器11内に配置された際に、処理容器11の側壁の温度測定位置P8に対向する位置に熱電対TC8が配置されている。

第6の腕58には、処理容器11内に配置された際に、処理容器11の側壁の温度測定位置P9に対向する位置に熱電対TC9が配置されている。

【0060】

熱電対TC1～TC9は、各温度測定位置P1～P9に非接触で近接して配置され、温度測定位置P1～P9の温度をほぼ正確に測定可能である。これらの熱電対TCの出力信号線は、セットアップ時に制御部100のI/Oポート115に接続される。

【0061】

次に、熱処理装置1のセットアップ動作について、図9のフローチャートを参照して説

明する。このセットアップ動作は、個々の熱処理装置1と基準装置との微妙な差異に基づく熱特性の差を求めて、熱モデル記憶部111に記憶されている基準熱モデルM1を修正してこの熱処理装置1に固有の校正熱モデルM2を作成する作業である。

【0062】

まず、操作者は、操作パネル121からの指示によりポートエレベータ127を降下させて、ウエハポート蓋体21を降下させ、回転テーブル24上に、ダミーウエハWを搭載したポート26を配置する。また、温度測定装置51を側方からポート26に挿入する。次に、操作パネル121からの指示によりポートエレベータ127を上昇させて、蓋体21を上昇し、ポート26を処理容器11内にロードする。

【0063】

続いて、操作者は、操作パネル121から、基準熱モデルM1の校正処理の開始を指示する。

この指示に応答し、制御部100（のCPU116）は、ROM113に記憶されている校正処理用プログラムに従って動作を開始する。

【0064】

まず、制御部100は、弁開閉制御部125、真空ポンプ126等を制御し、圧力計122の出力をモニタして、処理容器11内を所定圧力まで減圧する（ステップS11）。

【0065】

続いて、処理容器11内の温度測定位置P1～P9及びセンサS4の温度を、セットアップレシピR1に従って、第1の温度（例えば、500°C）に設定する（ステップS12）。

【0066】

処理容器11内の温度が安定した時点で、温度センサS1～S5及び熱電対TC1～TC9で各温度測定位置の温度を実測する（ステップS13）。

続いて、温度センサS1～S5の測定温度及びヒータ31～33への供給電力等の情報を基準熱モデルM1に適用して、温度測定位置P1～P9（モニタウエハWの中央及び周縁部の位置P1～P5、下面ヒータ33の温度測定位置P6, P7, 処理容器11の側壁内面の温度測定位置P8, P9）、及び、温度センサS4の温度を予想する（ステップS14）。

次に、温度測定位置P1～P9と温度センサS4の温度の予想値とを対応付けてRAM114に記憶する（ステップS15）。

【0067】

次に、セットアップレシピR1で設定されている全ての温度についての処理が終了したか否かを判断する（ステップS16）。終了していない、即ち、設定していない温度が存在する場合には（ステップS16；No）、ステップS12に戻って、次の設定温度について同様の処理を繰り返す。

【0068】

一方、セットアップレシピR1で設定されている全ての温度についての処理が終了した場合には（ステップS16；Yes）、図10に示すような実測温度と予想温度との対応表がRAM114上に完成しており、処理は、ステップS18に進む。

【0069】

ステップS18においては、RAM114上に形成された対応表に基づいて、熱電対TC1～TC9で実測された温度TR1～TR9と、温度センサS4で実測された温度TP1～TP9とTP10と、基準熱モデルM1により予想した温度測定位置P1～P9の温度TP1～TP9と温度センサS4の温度TP10とをそれぞれ比較し、ウエハWの温度の補正值を求める。

【0070】

補正值を求める手法自体は任意であるが、例えば、式1に従って、補正值を求めことができる。

$$\text{補正值} i = \text{基準熱モデルM1による予想値} TP_i - \text{実測値} TR_i \quad \dots \text{式1}$$

i : 温度測定位置P1～P9を示す1～9の値と温度センサS4を表す値10

【0071】

なお、補正值 i は、固定値でもよく、或いは、関数の形式となってもよい。例えば、予想値 $T_P i$ 一実測値 $T_R i$ が、図11に示すようにばらついた場合には、例えば、最小二乗法を用いて、これらを代表する一次関数 $f(T)$ (T は基準熱モデルM1による予想温度) を求め、これを補正值としてもよい。

【0072】

次に、基準熱モデルM1を校正して校正熱モデルM2を作成し、熱モデル記憶部111に格納する(ステップS19)。即ち、式2で示すように、基準熱モデルM1による予想温度を補正值できるように、基準熱モデルM1を校正して校正熱モデルM2を作成し、熱モデル記憶部111に格納する。

$$\text{予想温度 } i = \text{基準熱モデルM1で予想した温度 } i - \text{補正值 } i \quad \dots \text{ 式2}$$

【0073】

例えば、補正值が図11に示すような関数 $f(T)$ で表され、基準熱モデルM1で予想した温度が T_0 とすると、予想温度が $T_0 - f(T_0)$ となるように、基準熱モデルM1を校正する。

【0074】

以上で、基準熱モデルM1をこの装置用に校正(カスタマイズ)する処理が終了する。

【0075】

その後、ポート26と温度測定装置51とをアンロードし、処理容器11から搬出する。

【0076】

熱モデル記憶部111に記憶された校正熱モデルM2は、以後の、実際のプロセスでの温度測定位置P1～P9の温度及び温度センサS4の温度の予想に使用される。

【0077】

次に、上述のセットアップ処理により個々の熱処理装置1に適合するように校正された校正熱モデルM2を用いて、成膜処理、拡散処理等のプロセスを行う動作を図12、図13を参照して説明する。

まず、操作者は、操作パネル121を操作して、実行対象のプロセスを特定する。操作パネル121からの操作指示に応答して、CPU116は、実行対象のプロセスのプロセスレシピをレシピ記憶部112から読み出し、RAM114上に格納する。ここでは、理解を容易にするため図6に示すレシピが選択されたものとする。

【0078】

操作者は、操作パネル121を操作して、図示せぬロボットにより、処理対象のウエハWが積載されたポート26を回転テーブル24上に載置し、ポート26のロードを指示する。この指示に応答して、制御部100は処理容器11の内面の温度をプロセスレシピが指定する温度に維持しながら、ポートエレベータ127を制御して、ポート26をロードする。

【0079】

具体的に説明すると、制御部100のCPU116は、図12(a)に示すように、ポートエレベータ127を制御して、ポート26をロードする動作(ステップS21)と、処理容器11の内壁の温度測定位置P8、P9の温度がプロセスレシピが規定する温度に一致するように温度センサS1～S5で温度を検出しつつヒータコントローラ123を介してヒータ31～33を制御する動作(ステップS22)を、ポート26のロードの完了が検出されるまで(ステップS23; Yes)繰り返す。

【0080】

制御部100は、ポート26のロードが完了すると、処理容器11内を排気すると共にヒータコントローラ123を介して、各部の温度がレシピが指示する値になるようにヒータ31～33を制御する。処理容器11内の排気が完了し、処理容器11内のウエハを含む各部の温度がプロセスレシピが指定する温度になると、制御部100は、開閉弁制御部125を介して処理ガスの供給を開始する。

【0081】

以後、処理容器11内の圧力、各部の温度、ガス流量、排気量などをレシピに従って制御しながら、処理を進める。この間、制御部100は、下面ヒータ33の温度測定位置P6、P7及び処理容器11の側壁の温度測定位置P8、P9の予想温度、さらに温度センサS4の予想温度がレシピが規定する温度に一致するようにヒータ31～33に制御する。

【0082】

具体的に説明すると、CPU116は、温度センサS1～S5により温度を測定し、また、ヒータ電力などの測定値を取り込む（ステップS31）。

続いて、CPU116は、測定値を校正熱モデルM2に適用して温度測定位置P1～P9及び温度センサS4の温度を予想する（ステップS32）。

続いて、CPU116は、校正熱モデルM2に基づいて、温度測定位置P1～P5の予想温度がプロセスレシピが指定するウエハ温度に一致し、位置P6とP7の温度の平均値がプロセスレシピが規定する下面ヒータ33の温度に一致し、位置P8とP9の温度の平均値がプロセスレシピが規定する処理容器11の内面の温度の一一致し、温度センサS4の温度がプロセスレシピが指定する温度センサS4の温度に一致するように、ヒータコントローラ123を介してヒータ31～33への供給電力を制御する（ステップS33）。

【0083】

続いて、CPU116は、圧力計122、マスフローコントローラ124等の測定値を取り込み、処理容器11内の圧力やガス流量などがプロセスレシピが規定する値に一致するように、マスフローコントローラ124、弁開閉制御部125、真空ポンプ126等を制御する。

続いて、処理が終了したか否か、例えば、処理が一定時間継続したか否かを判別し（ステップS35）、終了していないければ（ステップS35；No）、ステップS31に戻つて処理を継続し、終了していれば（ステップS35；Yes）、処理をプロセス処理（成膜処理）を終了し、バージ処理などに移る。

【0084】

このようにしてウエハWの温度（推定温度）をレシピが規定する温度に一致させるだけでなく、処理容器11内のウエハW以外の部分、具体的には、下面ヒータ33と処理容器11の側面と温度センサS4の推定温度とを、それぞれレシピが規定する温度とするように制御を行う。これにより、ウエハWの温度のみを制御する場合に比して、CVD系プロセスのガス分解効果の変動（バラツキ）を抑え、プロセスレシピが本来予定しているプロセスからのバラツキが小さい状態で、プロセスを実行でき、予定している結果に近い結果を得ることができる。

【0085】

さらに、プロセス毎に適切なレシピを設定すると、ガス分解効果を促進或いは鈍化させることができとなり、ユーザにとって望ましい成膜結果が得られる。

成膜処理が終了すると、プロセスガスの供給を停止し、代わりに、バージガスを用いて処理容器11内の処理ガスを排気しながら、処理容器11内を昇圧しつつ、冷却する。

【0086】

処理容器11内の圧力が大気圧まで上がり、温度が所定温度まで低下すると、ポートエレベータ127を制御して、ポート26をアンロードする。このアンロードの間、即ち、ウエハWを処理容器11から取り出している間、制御部100は、処理容器11の内面の温度測定位置P8とP9の温度がそれぞれレシピで設定された一定温度を維持するようにヒータ31～33を制御する。また、この間、排気部12からは発生するパーティクルを吸引するように、排気を行う。

【0087】

具体的に説明すると、制御部100のCPU116は、図12（b）に示すように、ポートエレベータ127を制御して、ポート26をアンロードする動作（ステップS25）と、処理容器11の内壁の温度測定位置P8、P9の温度がプロセスレシピが規定する温

度に一致するように温度センサS1～S5で温度を検出しつつヒータコントローラ123を介してヒータ33を制御する動作（ステップS26）と、処理容器11内を排気するように真空ポンプ126を制御する動作（ステップ27）と、を、ポート26のアンロードの完了が検出されるまで（ステップS28；Yes）繰り返す。

【0088】

アンロードが終了すると、回転テーブル24上からポート26を取り出して、処理を終了する。

【0089】

以上説明したように、この実施の形態にかかる熱処理装置は、成膜時にウエハの温度だけでなく、処理容器11内の所定の他の部分（温度センサS4、下面ヒータ33、及び処理容器11の内側面）の温度をも推定し、推定温度が予め設定されてたレシピが指示する温度に一致するように温度制御を行う。従って、ウエハWの温度だけをレシピが指定する温度に一致させるように制御する場合に比して、処理のバラツキを抑え安定して高い品質の成膜を行うことができる。

また、ポート26のロード及びアンロードの間、処理容器11内面の温度をほぼ一定値に制御することにより、処理容器11の内面の堆積物の剥離などを抑えることが可能となり、パーティクルの発生を抑える事ができる。

【0090】

この発明は、上記実施の形態に限定されず、種々の変形及び応用が可能である。例えば、上記実施の形態においては、処理中にウエハWの温度以外に、下面ヒータ33と温度センサS4と処理容器11の内面の温度測定位置P8とP9の温度が、レシピが規定する温度に一致するように制御した。この発明はこれに限定されず、例えば、処理中は、処理容器11の内面の温度を制御対象から外し、ウエハWの温度と共に下面ヒータ33と温度センサS4の温度のみを制御対象とするようにしてもよい。

【0091】

上記実施の形態においては、下面ヒータ33の温度測定位置P6とP7、処理容器11の内面の温度測定位置P8とP9の温度をそれぞれ予想し、それぞれ、レシピが指定する温度となるように制御した。しかし、これに限定されず、例えば、下面ヒータ33の温度測定位置P6とP7の平均温度を予想し、予想した平均温度がレシピが指定する温度となるようにヒータ31～33を制御し、或いは、処理容器11の内面の温度測定位置P8とP9の平均温度を予想し、予想した平均温度がレシピが指定する温度となるようにヒータ31～33を制御するようにしてもよい。

【0092】

この場合には、例えば、熱モデル記憶部111には、温度測定位置P6とP7の平均温度と温度測定位置P8とP9の平均温度を予想する熱モデルが格納され、レシピ記憶部112には、温度測定位置P8とP9の平均温度と温度測定位置P8とP9の平均温度のレシピが格納される。CPU116は、熱モデルにより、温度測定位置P6とP7の平均温度及び温度測定位置P8とP9の平均温度を予想し、予想温度がレシピが規定する温度に一致するように、ヒータコントローラ123を介してヒータ31～33を制御する。

【0093】

熱モデルは、実施の形態のように、温度測定位置P6～P9の温度を個別に予想するものとし、CPU116が予想した温度の平均値を計算し、温度測定位置P6とP7の平均温度及び温度測定位置P8とP9の平均温度がそれぞれレシピが規定する温度に一致するように、ヒータコントローラ123を介してヒータ31～33を制御するようにしてもよい。

【0094】

また、他の箇所を温度の制御対象としてもよい。例えば、ポート26の任意の位置や温度センサS5の温度を予想及び制御の対象としてもよい。この場合には、ポート26の所定位置や温度センサS5の温度を予想するモデルを作成し、さらに、プロセスの実行に最適なポート26の所定位置や温度センサS5の温度の変化のレシピを作成する。作成した

レシピが指示する温度にポート26や温度センサS5の温度が一致するようにヒータ31を制御することになる。

【0095】

その他、ウエハWと共に温度を制御する箇所は任意である。但し、処理ガスの流れ、圧力分布などを考慮し、その箇所の温度が直接又は間接的にプロセスの実行に影響を与えるような箇所が望ましい。

【0096】

さらに、温度予想用の温度センサの数や配置位置は、適宜変更可能であり、数は5つに限定されず、配置位置は、処理容器11の内壁に配置する等してもよい。

【0097】

また、この発明を適用する熱処理装置1も、上記実施の形態のものに限定されず、任意に変更可能であり、例えば、処理容器11が例えば二重管構造であったり、ポート26に収容できる半導体ウエハWの数がより大容量（例えば、約100枚から150枚）であつたり、さらには、より小容量（例えば、15～30枚）であってもよい。

【0098】

また、上記実施の形態では、CVD装置を例にこの発明を説明したが、処理の種類は任意であり、この発明は、CVD装置に限らず、酸化装置、エッティング装置、等の様々なバッチ式熱処理装置に適用可能である。

【0099】

また、機器構成や動作も上記実施の形態に限定されない。例えば、上記実施の形態では、側面ヒータの数を3つ、内部ヒータの数を2つとしたが、ヒータの数や配置は任意である。また、ヒータは、電気抵抗型のものに限定されず、ランプなどでもよい。また、ウエハ等の温度を測定するための構成も熱電対に限定されず、任意の温度センサを適用可能である。

【0100】

また、熱モデルやその設計手法も、米国特許5,517,594に開示されたモデルやその設計手法に限定されるものではなく、任意のモデル及び任意の設計手法を採用可能である。

【0101】

さらに、上記実施の形態では、熱モデルを生成する段階で、上面ヒータ32については、温度センサS4の温度で近似し、下面ヒータ33については、熱電対TC8, TC9で直接測定したが他の手法を使用することも可能である。放射温度計などのを用いて温度を測定することも可能である。

【0102】

なお、上述の校正処理を行うためのコンピュータプログラムの少なくとも一部をCD-ROMやDVD-ROMなどのコンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納して配布し、I/Oポート115を介してRAM114に転送し、転送したプログラムをCPU116で実行することにより、上述の校正処理を実行するようにしてよい。また、プログラムをネットワークを介してI/Oポート115に転送するようにしてよい。

【図面の簡単な説明】

【0103】

【図1】本発明の実施の形態に係る熱処理装置の構成を示す図である。

【図2】図1に示す制御部の構成を示す図である。

【図3】図2に示す熱モデル記憶部とレシピ記憶部に記憶されるデータの例を示す図である。

【図4】下面ヒータ上の温度測定位置を説明するための図である。

【図5】セットアップレシピの例を示す図である。

【図6】プロセスレシピの例を示す図である。

【図7】温度測定装置の構成を示す図である。

【図8】温度測定装置の腕部をポートに挿入した状態を示す図である。

【図9】基準熱モデルを校正して校正熱モデルを生成する手順を説明するためのフローチャートである。

【図10】セットアップレシピによる各設定温度における、基準熱モデルによる予想温度と実測温度とを対応付けて記憶する様子を示す図である。

【図11】基準熱モデルを補正する方法を説明するための図である。

【図12】ロード時及びアンロード時の処理手順を示すフローチャートである。

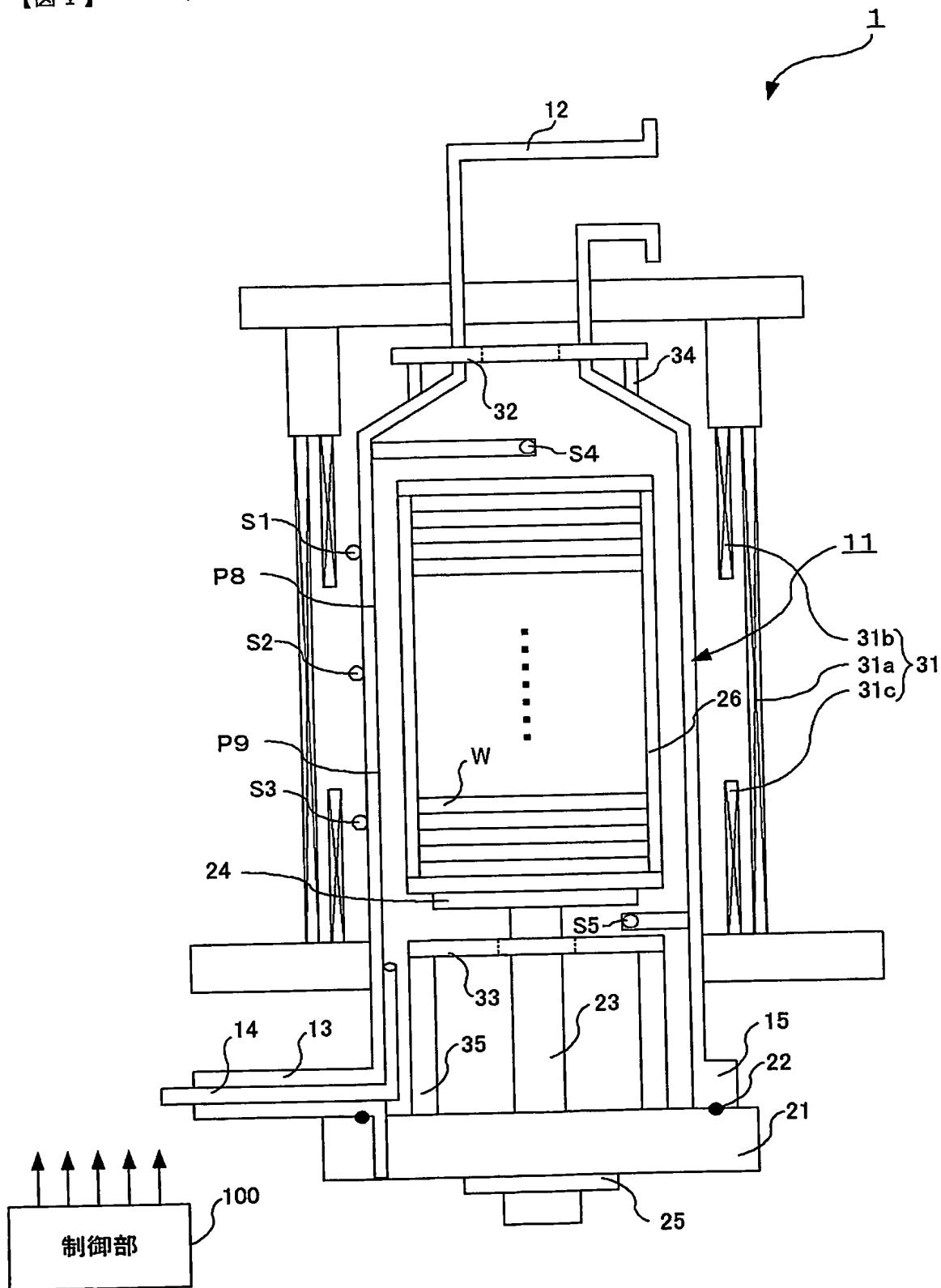
【図13】成膜時のプロセス処理を説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

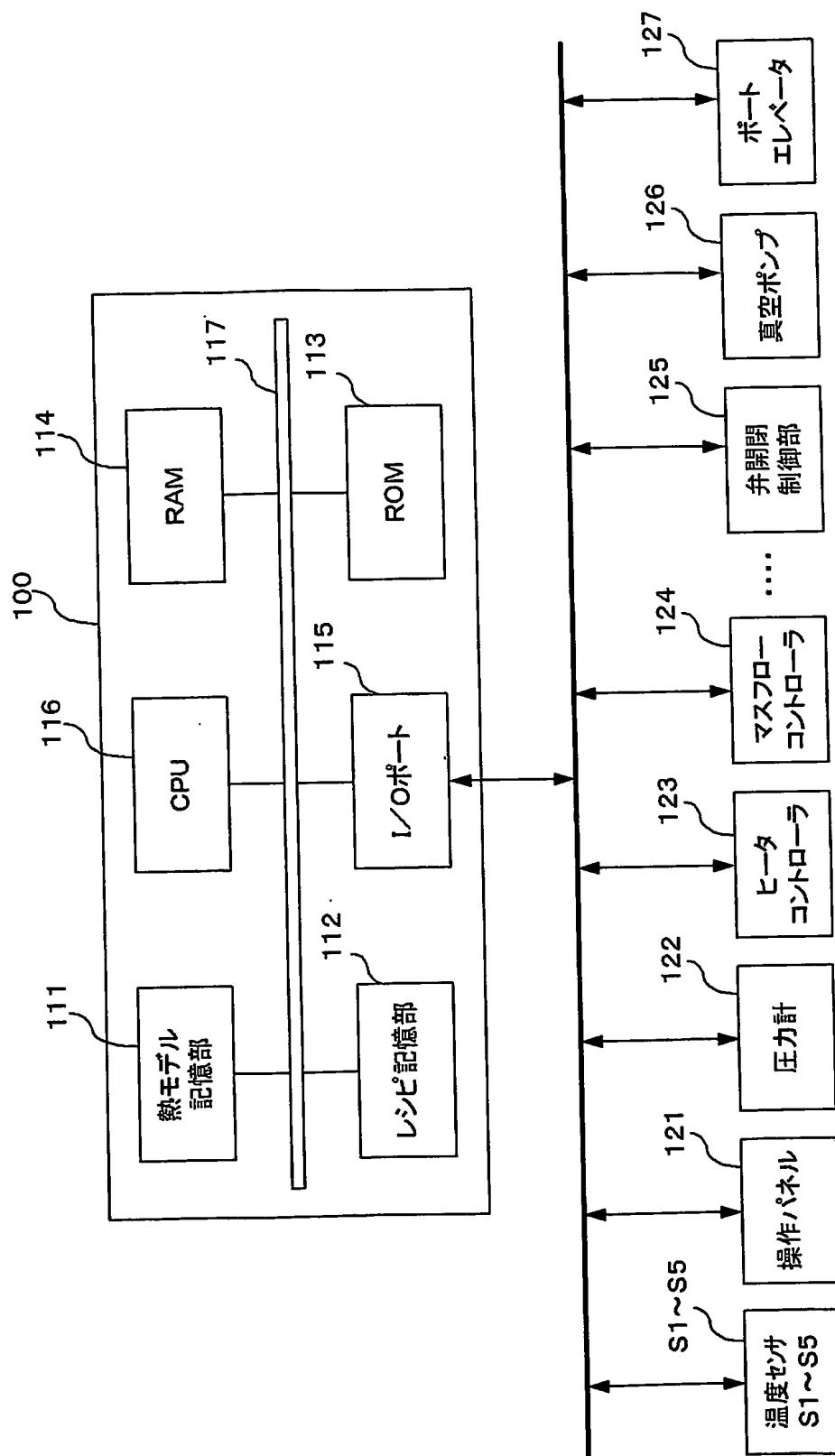
【0104】

- 1 热处理装置
- 1 1 処理容器
- 1 5 下端部
- 2 1 蓋体
- 2 4 回転テーブル
- 2 6 ポート
- 3 1 周面ヒータ
- 3 1 a メインヒータ
- 3 1 b 上端サブヒータ
- 3 1 c 下端サブヒータ
- 3 2 上面ヒータ
- 3 3 下面ヒータ
- 1 0 0 制御部
- S 1 ~ S 5 温度センサ
- T C 1 ~ T C 5 热電対 (温度センサ)

【書類名】 図面
【図 1】

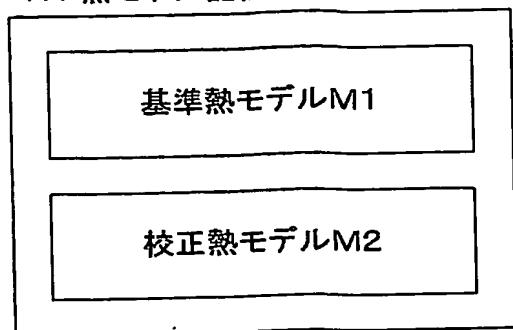


【図2】



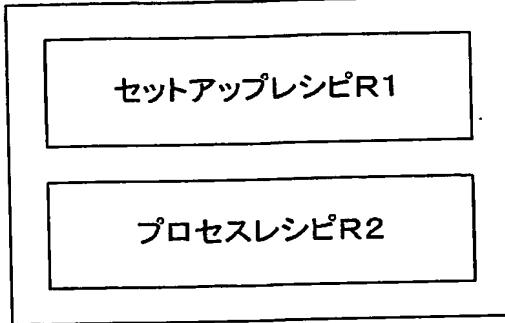
【図3】

111 热モデル記憶部



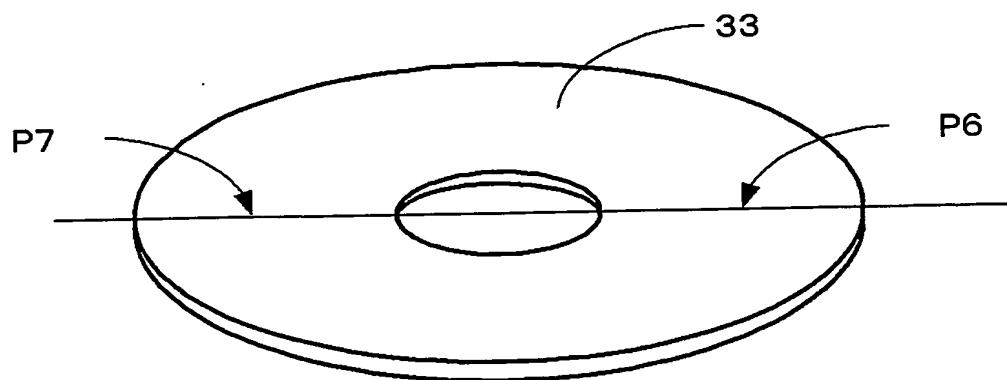
(a)

112 レシピ記憶部

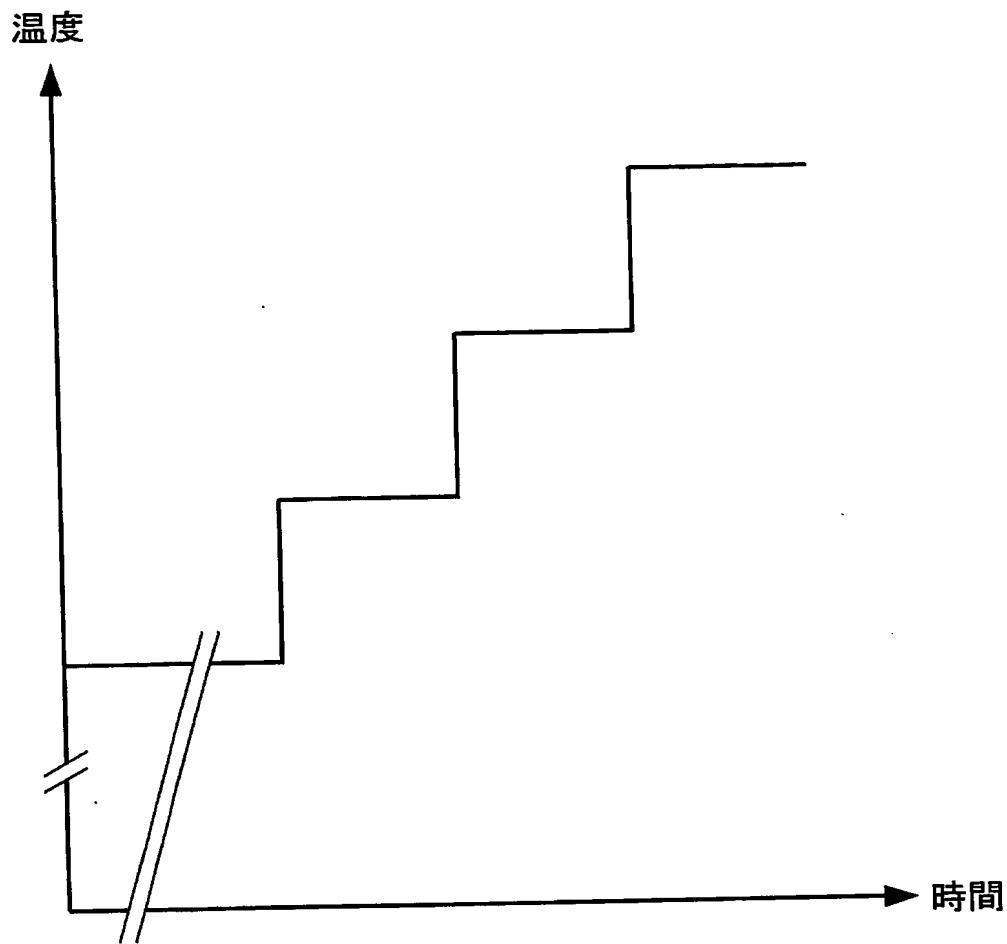


(b)

【図4】

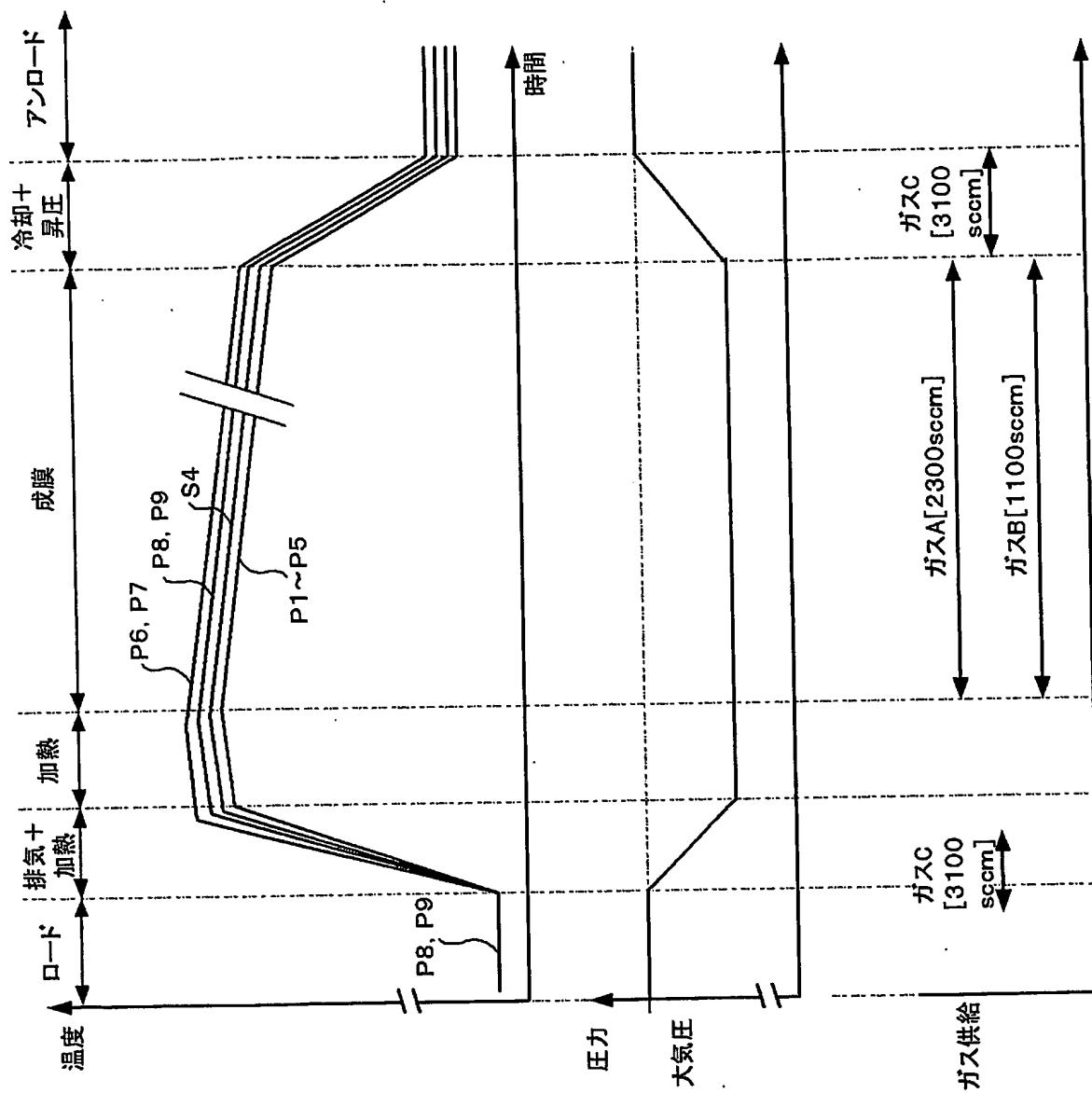


【図 5】

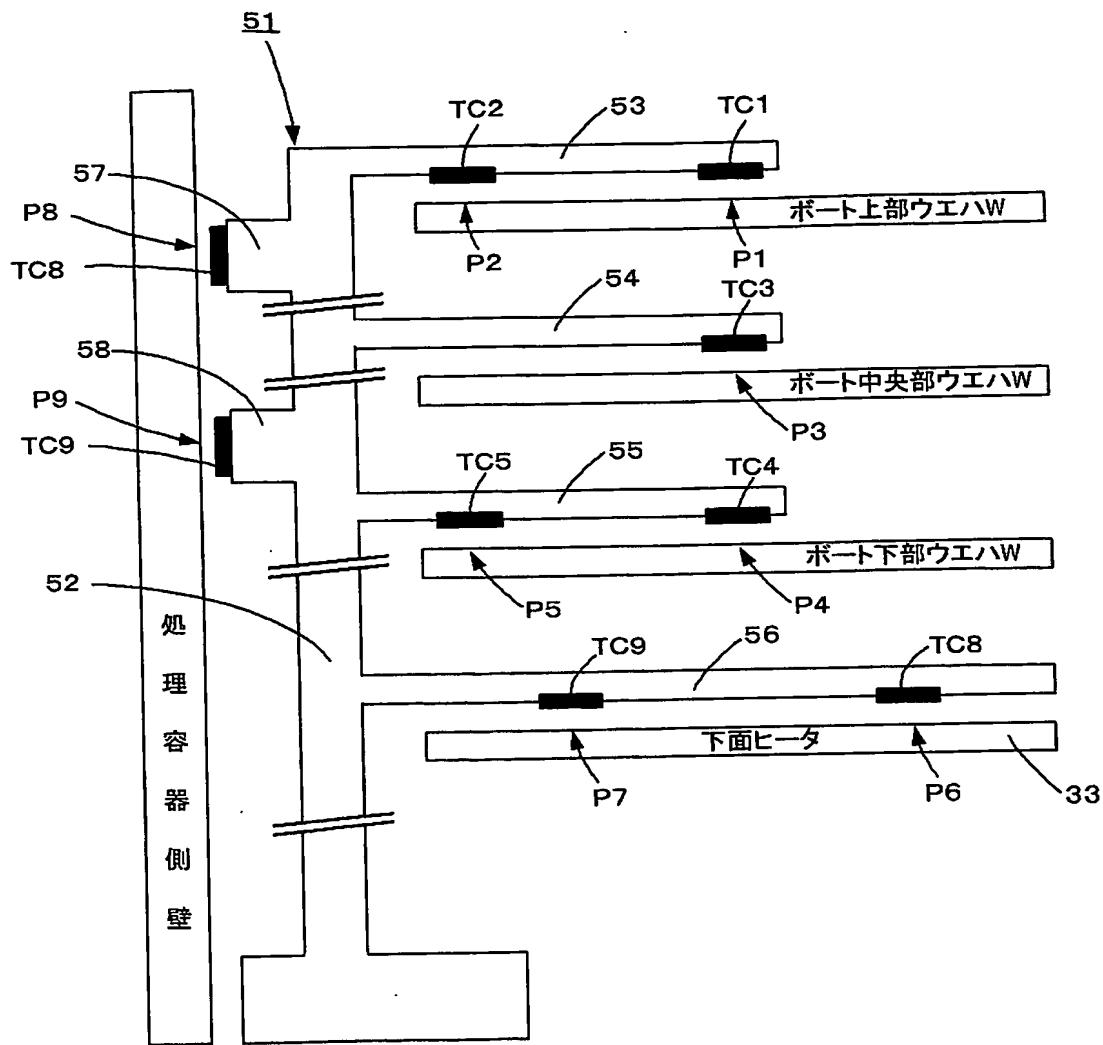


圧力:P, ガスC 2000sccm

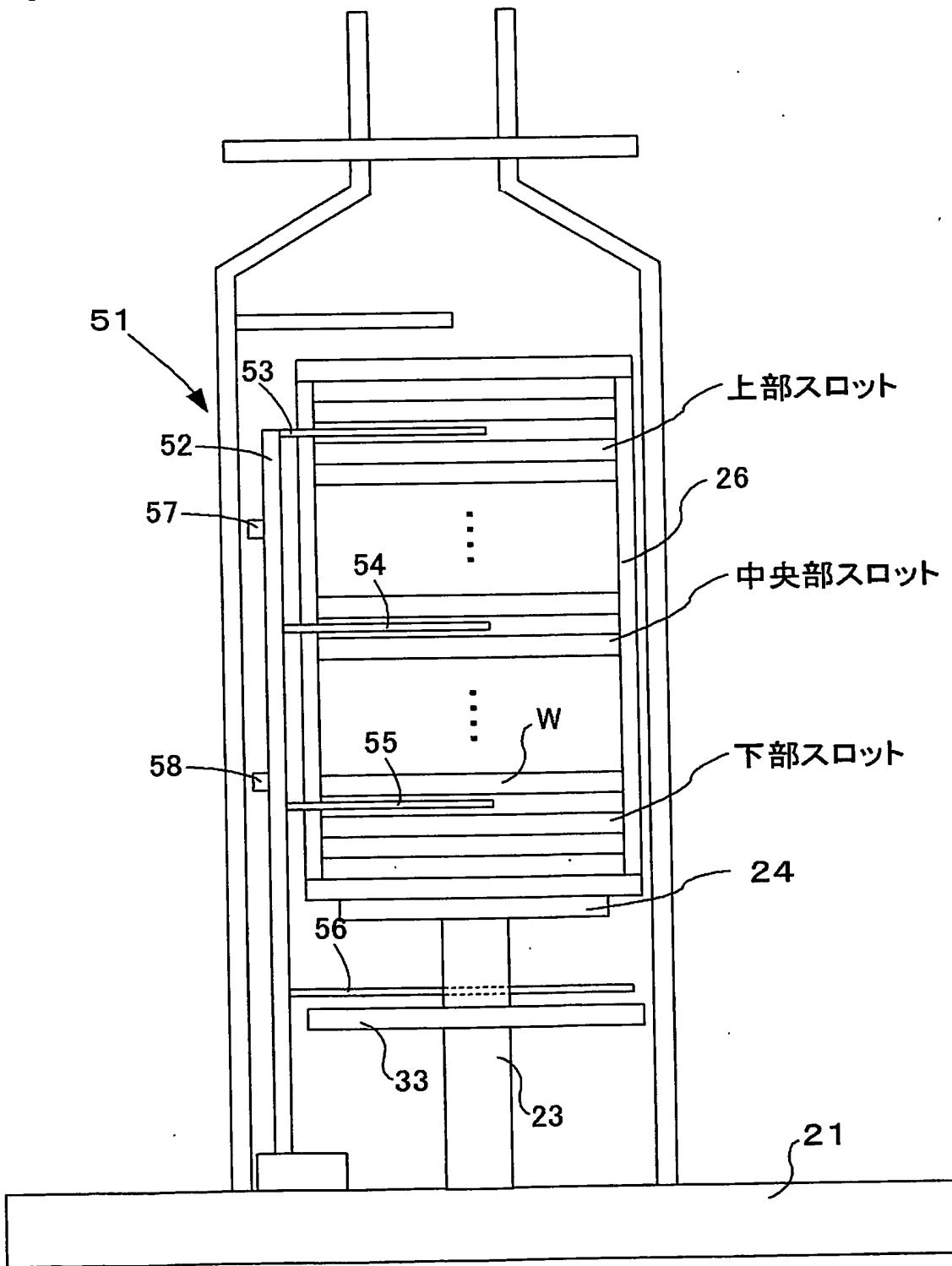
【図6】



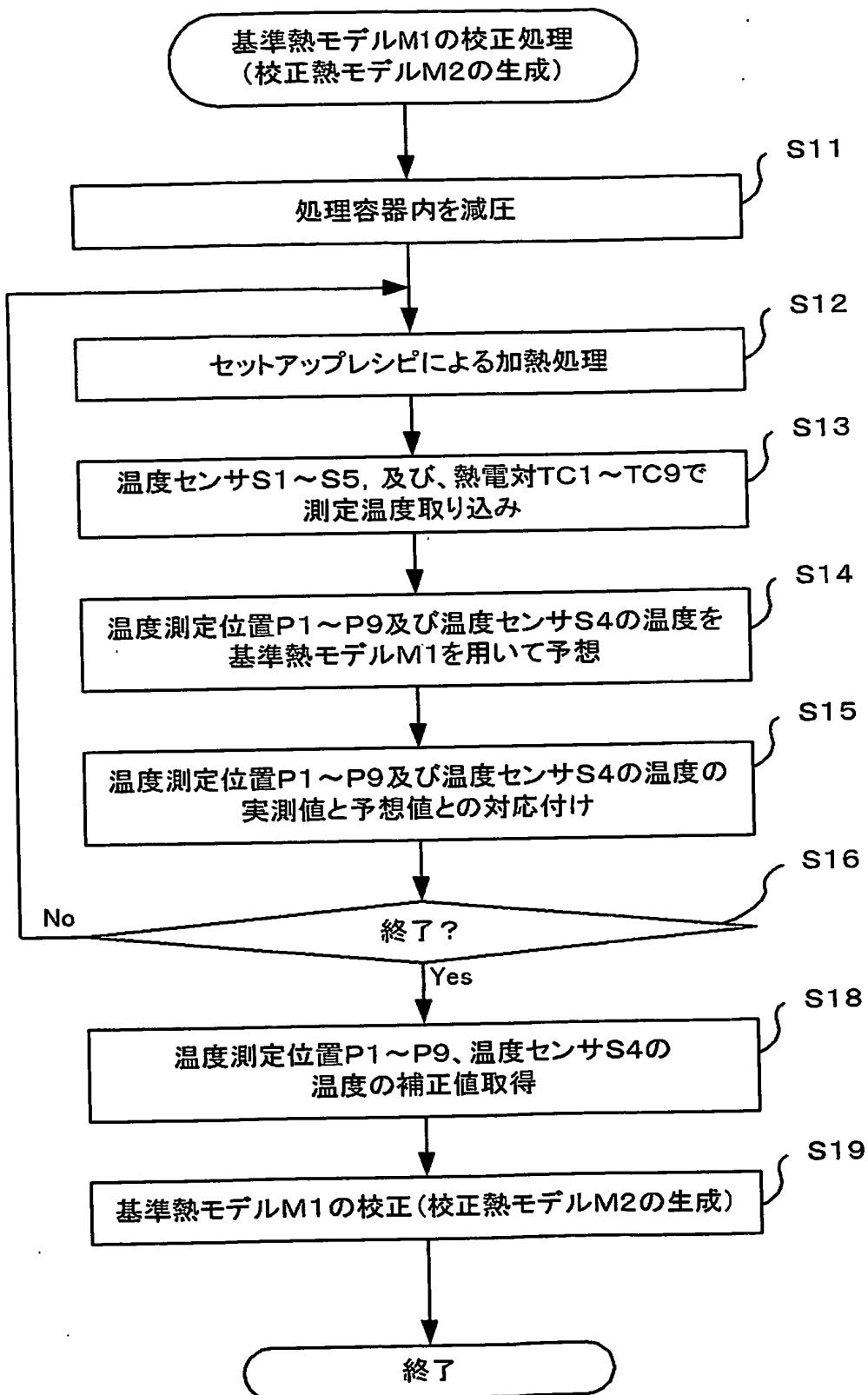
【図 7】



【図8】



【図 9】

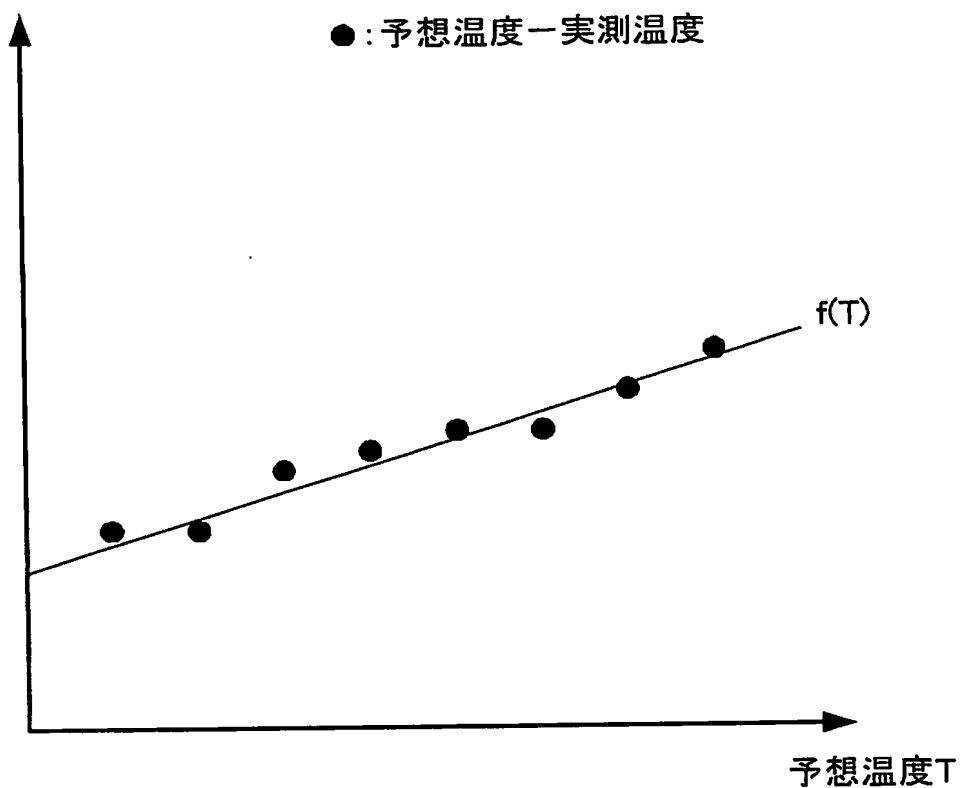


【図10】

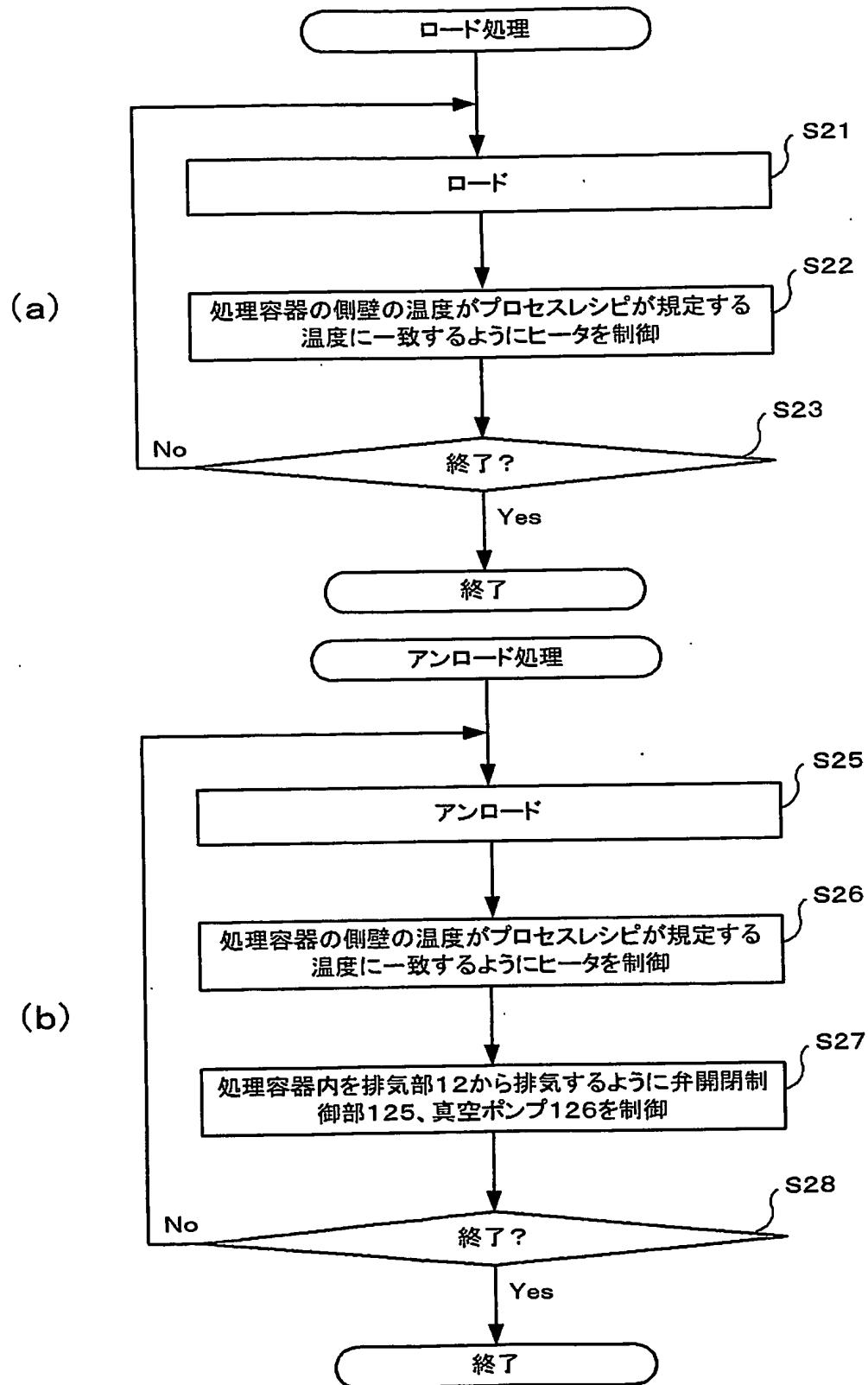
設定(目標時)温度	実測温度					予想温度				
	TC1	TC2	....	TC9	S4	TP1	TP2	....	TP9	S4
500°C	490°C	480°C	....	490°C	480°C	500°C	500°C	....	500°C	500°C
600°C	587°C	570°C	....	590°C	585°C	600°C	600°C	....	600°C	600°C
....
1100°C	1090°C	1070°C	....	1090°C	1080°C	1100°C	1100°C	....	1100°C	1100°C

【図11】

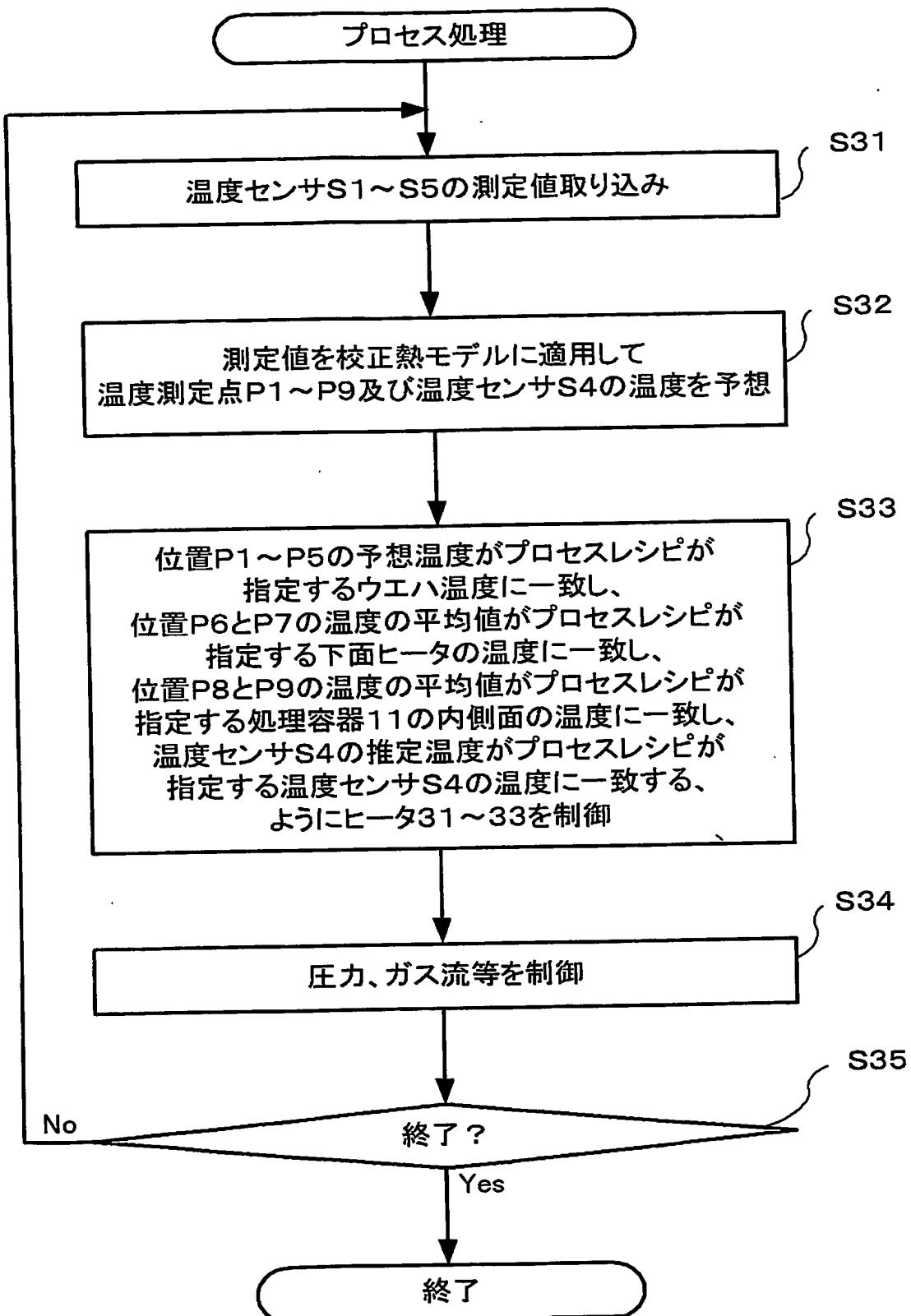
予想温度と実測温度の差



【図12】



【図13】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 热モデルを用いて被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて、热処理を行う热処理装置において、的確な温度制御を可能とする。

【解決手段】 热処理装置1は、処理容器11とヒータ31～33と温度センサS1～S5とを備え、热モデルとレシピを記憶し、温度センサS1～S5の出力から热モデルを用いてウエハWの温度を予想し、予想温度が温度レシピが規定する温度に一致するようにヒータ31～33を制御することにより、ウエハWに成膜処理を施す。热モデルは、ウエハWの温度と処理容器11内に配置されたヒータ33や処理容器11の側壁の温度などを予測する機能を有し、温度レシピは、これらの部位の温度も規定する。热処理装置11は、ウエハWの温度とそれ以外の部分の温度を热モデルにより予想し、予想した温度がレシピが規定する温度に一致するように、ヒータ31～33を制御する。

【選択図】 図1

特願 2003-371291

出願人履歴情報

識別番号 [000219967]

1. 変更年月日 2003年 4月 2日

[変更理由] 住所変更

住所 東京都港区赤坂五丁目3番6号
氏名 東京エレクトロン株式会社